

---

## ТЕХНІКА ТА ПРИСТРОЇ НВЧ ДІАПАЗОНУ. АНТЕННА ТЕХНІКА

---

УДК 621.372.413

### ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РЕЖЕКТОРНИХ ФІЛЬТРІВ НА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЗОНАТОРАХ

*Моховиков О.С., студент**Трубін О.О., д.т.н., професор**Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

#### Вступ

Сучасна методика проектування фільтрів на діелектричних резонаторах застаріла та потребує змін. Найбільш зручним способом вирішення задачі проектування фільтра по заданій АЧХ є метод оптимізації, заснований на використанні генетичного алгоритму.

Для дослідження можливості застосування генетичних алгоритмів при конструюванні фільтрів на діелектричних резонаторах нами був вибраний чотирьохрезонаторний режекторний фільтр. Була розроблена програма, основана на використанні генетичного алгоритму, за допомогою якої нами були отримані значення коефіцієнтів зв'язку фільтру, за допомогою яких можливо його конструювати. У даній статті наведено результати синтезу режекторних фільтрів, побудованих на 4 діелектричних резонаторах.

#### Теорія

Генетичний алгоритм — це еволюційний алгоритм пошуку, що використовується для вирішення задач оптимізації шляхом послідовного підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію.

Особливістю генетичного алгоритму є акцент на використання оператора "схрещування", який виконує операцію рекомбінації рішень-кандидатів, роль якої аналогічна ролі схрещення в живій природі.

Будь-який організм може бути представлений своїм фенотипом, який фактично визначає те, чим є об'єкт у реальному світі, і генотипом, який містить всю інформацію про об'єкт на рівні хромосомного набору. При цьому кожен ген, тобто елемент інформації генотипу, має своє відображення у фенотипі. Таким чином, для вирішення задачі нам необхідно представити кожен ознаку об'єкта у формі, що підходить для використання в генетичному алгоритмі. Все подальше функціонування механізмів ГА проводиться на рівні генотипу, дозволяючи обійтися без інформації про внутрішню

структуру об'єкта, що й обумовлює його широке застосування в різних задачах.

У найпопулярнішому різновиді ГА для подання генотипу об'єкту застосовуються бітові рядки. У цьому випадку кожному атрибуту об'єкту у фенотипі відповідає один ген в генотипі об'єкта. Ген є бітовим рядком, найчастіше фіксованої довжини, який представляє собою значення цієї ознаки.

Блок-схема генетичного алгоритму зображена на рис. 1. Спочатку генерується початкова популяція особин (індивідуумів), тобто деякий набір рішень задачі. Як правило, це робиться випадковим чином. Потім необхідно змодельовати розмноження всередині цієї популяції. Для цього випадково відбирається декілька пар індивідуумів, відбувається схрещування між хромосомами в кожній парі (обмін генами), а отримані нові хромосоми втілюються в популяцію нового покоління. У генетичному алгоритмі зберігається основний принцип природного відбору - чим пристосованіший індивідуум (чим більше відповідає йому значення цільової функції), тим з більшою ймовірністю він буде брати участь у схрещуванні. Далі моделюються мутації - у декількох випадково обраних особинах нового покоління змінюються деякі гени. Потім стара популяція частково або цілком знищується і ми переходимо до розгляду наступного покоління. Популяція наступного покоління в більшості реалізацій генетичних алгоритмів містить стільки ж особин, скільки початкова, але в силу відбору пристосованість у ній у середньому вище. Тепер описані процеси відбору, схрещування й мутації повторюються вже для цієї популяції і т.д.

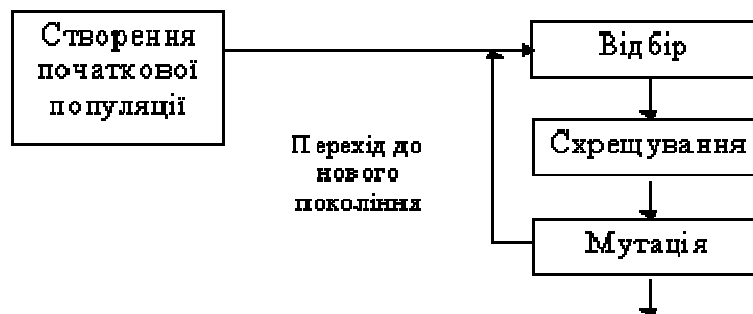


Рис. 1. Блок-схема генетичного алгоритму

### Постановка та розв'язок задачі

Для проведення досліджень був вибраний режекторний фільтр, що представляє собою 4 послідовно розміщені діелектричні резонатори, зв'язані з деякої лінією передачі (ЛП), симетрично відносно площини А[1] (див. рис. 2).

Коефіцієнт передачі такого фільтру описується складним рівнянням, що залежить від наступних змінних: 6 коефіцієнтів зв'язку, відстанню між резонаторами: від ДР1(або ДР3) до ДР 2(або ДР 4), відстанню від ДР 2 до ДР3, а та-

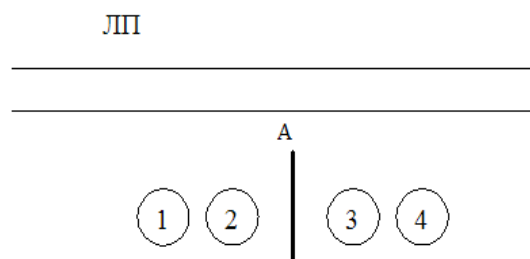


Рис. 2. Режекторний фільтр на чотирьох ДР

кож відстанню між ДР та лінією зв'язку.

Необхідно максимально наблизити цю криву до “оптимальної”. Оптимальна крива має вигляд рівнобедреної трапеції з крутими нахилами бєдер(див. рис. 3). При чому графік симетричний відносно прямої  $\omega = \omega_0$ . Точки оптимізації брались на бедрах трапеції(задавали скати АЧХ фільтру) та поза трапецією(умова рівності затухання 0 не в смузі запирання). Також задавалась умова, що затухання в частотах, що належать до меншої основи трапеції, повинно бути більшим ніж 20 дБ.

Програма виконувалась в Mathcad. В якості основи використовувався МГА (модифікований генетичний алгоритм) [2].

Нами досліджувались два види фільтрів: з максимально вузькою смугою частоти та з максимально широкою смугою частоти при заданому числі резонаторів. Для кожного з цих режекторних фільтрів вдалось отримати прийнятні результати для смуги запирання від 0.9% до 1.8 % відносно центральної частоти.

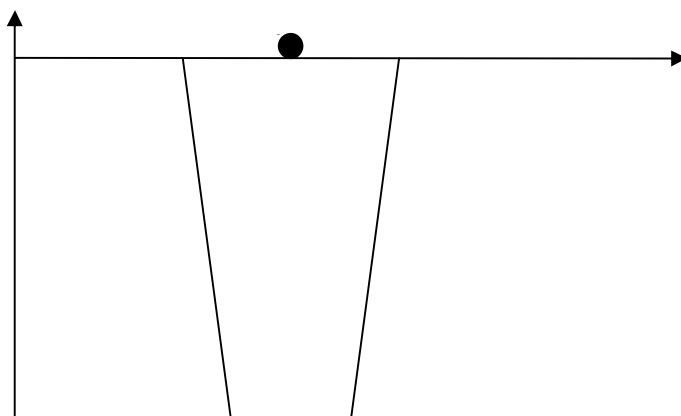


Рис. 3. “Оптимальна крива”

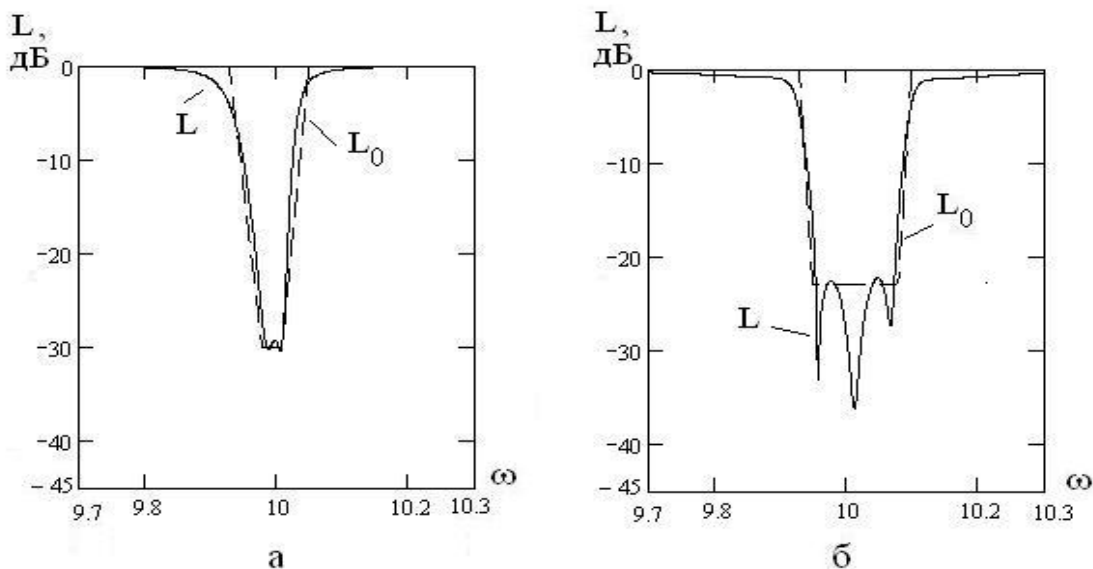


Рис. 4. АЧХ режекторних фільтрів, розрахованих за допомогою ГА.  
а – з максимально вузькою смугою, б – з максимально широкою смугою частот.

В результаті проведених розрахунків нами були знайдено такі значення

коефіцієнтів зв'язку режекторних фільтрів:

$$\delta\omega/\omega_0 = 0,9\%, \Gamma\Delta z_{12} = 2.238, \Gamma\Delta z_{23} = 2.242, k_{12} = 1.765 \times 10^{-3}, k_{13} = 6.4 \times 10^{-4}, k_{23} = -2.3 \times 10^{-3}, \\ k_{14} = 6.7 \times 10^{-4}, k_1 = 3.79 \times 10^{-3}, k_2 = 6.42 \times 10^{-3}$$

(див. рис. 4, а)

$$\text{б- } \delta\omega/\omega_0 = 1,8\%, \Gamma\Delta z_{12} = 0.891, \Gamma\Delta z_{23} = 1.472, k_{12} = 5.311 \times 10^{-3}, k_{13} = 4.78 \times 10^{-5}, k_{23} = -1.883 \times 10^{-3}, \\ k_{14} = 1.9 \times 10^{-3}, k_1 = 9.712 \times 10^{-3}, k_2 = 6.325 \times 10^{-3}$$

(див. рис. 4, б).

Де  $\delta\omega/\omega_0$  - відносна смуга загородження фільтру по рівню затухання – 3дБ;  $\Gamma\Delta z$  - безрозмірна відстань між резонаторами;  $k_{ij}$  - коефіцієнт взаємного зв'язку між  $i$ -м та  $j$ -м резонаторами;  $k_i$  - коефіцієнт зв'язку  $i$ -го резонатору з лінією.

### **Висновки**

Модифікований генетичний алгоритм добре справляється з задачею оптимізації АЧХ режекторного фільтру. Прийнятні результати вдалось отримати для полоси запирання від 0.9% до 1.8%. Але, порівняно з оптимізацією смугового фільтру [3], час виконання програми зростає в середньому в 10 разів, що пов'язано з більш складною розрахунковою моделлю. Крім того, точні результати більш складно отримати. Це свідчить про те, що для більш складних задач оптимізації необхідно вносити зміни в сам механізм роботи алгоритму.

### **Література**

1. М. Е. Ильченко, А. А. Трубин «Электродинамика диэлектрических резонаторов», - К.: 2004. 264 с.
2. Сабанин В. Р., Смирнов Н. И., Репин А. И. Модифицированный генетический алгоритм для задач оптимизации в управлении // Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2004. № 3-4. С. 78-85.
3. Трубин А.А., Моховиков А.С. Оптимизация Амплитудно-частотной характеристики трехзвенного полосового фильтра на диэлектрических резонаторах с помощью генетического алгоритма // Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. -2010. -№40. С. 82-87.

*Моховиков О.С., Трубін О.О. Застосування генетичних алгоритмів для оптимізації параметрів режекторних фільтрів на діелектричних резонаторах. Запропоновано програму по оптимізації амплітудної характеристики чотирьохрезонаторного режекторного фільтру, яка являється функцією восьми змінних. Надано результати розрахунків для фільтрів з найменшою та найбільшою смугами частот. Прийнятну характеристику вдалось отримати для фільтрів з відносною смугою запирання від 0.9% до 1.8%. Отримані результати наведено на графіках. Час, відведений на оптимізацію амплітудної характеристики чотирьохрезонаторного режекторного фільтру, порівняно з часом оптимізації трьохрезонаторного смугового фільтру, зріс приблизно в 10 разів. Зроблено висновок про доцільність застосування генетичних алгоритмів для інших подібних задач.*

**Ключові слова:** оптимізація, режсекторний фільтр, діелектричний резонатор, генетичний алгоритм.

Моховиков А.С., Трубин А.А. **Применение генетических алгоритмов для оптимизации параметров режсекторных фильтров на диэлектрических резонаторах.** Предложена программа по оптимизации амплитудной характеристики четырехрезонаторного режсекторного фильтра, которая является функцией восьми переменных. Представлены результаты расчета для фильтров с наименьшей и наибольшей полосами частот. Приемлемую характеристику удалось получить для фильтров с относительной полосой запырания от 0.9% до 1.8%. Полученные результаты приведены на графиках. Время, отведенное на оптимизацию амплитудной характеристики четырехрезонаторного режсекторного фильтра, по сравнению со временем оптимизации трехрезонаторного полосового фильтра, возросло примерно в 10 раз. Сделан вывод о целесообразности применения генетических алгоритмов для других подобных задач.

**Ключевые слова:** оптимизация, режсекторный фильтр, диэлектрический резонатор, генетический алгоритм.

A.Mokhovikov, A.Trubin. **Application of genetic algorithms for optical parameters timi-zatsii notch filters on dielectric resonators.** The program for optimization of the amplitude characteristic of band-stop filter based on 4 dielectric resonators, which is function of 4 variables, is proposed. The results of filter calculations with smallest and widest frequency bands are presented. Acceptable characteristics were achieved for filters with relative blocking band from 0.9% to 1.8%. Obtained results are shown on graphs. Time for optimization of amplitude characteristic of band-stop filter based on 4 dielectric resonators is approximately 10 times more then time for optimization of band-pass filter based on 3 dielectric resonators. Conclusion about feasibility of using genetic algorithms for other similar problems was made.

**Key words:** optimization, band-stop filter, dielectric resonator, genetic algorithm.